

# Utjecaj biogoriva na okoliš i gospodarstvo

---

Šket, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:100057>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-18**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Ana Šket

**ZAVRŠNI RAD**

Zagreb, rujan 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
POVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE ISPITE

Kandidatkinja Ana Šket

Predala je izrađen završni rad dana: 15. rujna 2021.

Povjerenstvo u sastavu:

Izv. prof. dr. sc. Vladimir Dananić, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu

Prof. dr. sc. Igor Sutlović, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu

Prof. dr. sc. Zoran Mandić, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu

Prof. dr. sc. Veljko Filipan, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, zamjena

povoljno je ocijenilo završni rad i odobrilo obranu završnog rada pred povjerenstvom u istom sastavu.

Završni ispit održat će se dana: 20. rujna 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Ana Šket

*UTJECAJ BIOGORIVA NA OKOLIŠ I GOSPODARSTVO*

ZAVRŠNI RAD

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Vladimir Dananić

**Članovi ispitnog povjerenstva:** izv. prof. dr. sc. Vladimir Dananić

prof. dr. sc. Igor Sutlović

prof. dr. sc. Zoran Mandić

prof. dr. sc. Veljko Filipan, zamjena

Zagreb, rujan 2021.

## **ZAHVALA**

*Zahvaljujem se svom mentoru izv. prof. dr. sc. Vladimiru Dananiću na savjetima, pomoći i razumijevanju prilikom izrade rada.*

*Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji na neizmornoj ljubavi i riječima ohrabrenja tijekom čitavog školovanja, prijateljima bez čije potpore i velikog razumijevanja ne bih uspjela.*

*Hvala Vam!*

*-Ana*

## SAŽETAK RADA

### *Utjecaj biogoriva na okoliš i gospodarstvo*

Posljednjih dvadeset godina znanstvenici se sve više bave tematikom biogoriva. Upravo zbog sve veće potražnje za biogorivom provode se mnoga istraživanja diljem svijeta. Cilj ovog rada je predočiti i približiti pojmove biomase, biogoriva i okolišnih i gospodarskih zahtjeva prilikom dobivanja i uporabe biogoriva. Također su objašnjene tri generacije, karakteristike i postupci dobivanja i namjena biogoriva. Ovaj rad je podijeljen u četiri glave komponente: biomasa, biogorivo, utjecaj biogoriva na okoliš i utjecaj biogoriva na gospodarstvo.

*Ključne riječi:* biomasa, biogorivo, emisija, okoliš, gospodarstvo, utjecaj

## **ABSTRACT**

### *Impact of Biofuels on the Environment and the Economy*

In the last twenty years, scientists have been increasingly dealing with the topic of biofuels. Precisely because of the growing demand for biofuels, many studies are being conducted around the world. The aim of this paper is to present and approximate the concepts of biomass, biofuels and environmental and economic requirements in the production and use of biofuels. Three generations, characteristics and procedures for obtaining and using biofuels are also explained. This paper is divided into four head components: biomass, biofuel, the impact of biofuels on the environment and the impact of biofuels on the economy.

*Key words:* biomass, biofuel, emissions, environment, economy, impact

## SADRŽAJ:

1. UVOD .....	1
2. BIOMASA .....	2
2.1. Udio vlage.....	3
2.2. Udio pepela.....	3
2.3. Drvna biomasa.....	4
2.4. Poljoprivredna biomasa .....	5
3. BIOGORIVO.....	6
3.1. Prva generacija biogoriva .....	6
3.1.1. Bioetanol .....	6
3.1.2. Biodizel .....	8
3.1.2.1. Cetanski broj.....	9
3.1.3. Bioplin .....	10
3.2. Druga generacija biogoriva .....	11
3.2.1. Biohidrogen.....	12
3.2.1.1 Gorivni članak .....	13
3.2.2. Bio-DME.....	13
3.2.3. Biometanol.....	14
3.2.4. DMF.....	15
3.2.5. Fischer–Tropsch sinteza .....	16
3.2.5.1. Fischer – Tropsch dizel.....	17
3.2.6. Bio– MTBE (metil-terc-butil-eter) .....	18
3.3. Treća generacija biogoriva .....	18
3.3.1. Biokemijska pretvorba .....	20
3.3.1.1. Anaerobna digestija.....	20
3.3.1.2. Alkoholna fermentacija.....	21
3.3.2. Termokemijska pretvorba .....	21
4. UTJECAJ BIOGORIVA NA OKOLIŠ .....	22
4.1. Usporedba biogoriva.....	23
5. UJECAJ BIOGORIVA NA GOSPODARSTVO .....	24
6. ZAKLJUČAK.....	25
7. LITERATURA .....	26



## 1.UVOD

Globalne klimatske promijene su sve više tema rasprave, a označavaju negativne promijene u hidrosferi, pedosferi, biosferi i atmosferi. Upravo promjene u atmosferi su uzrokovane povećanjem emisija stakleničkih plinova, a ponajviše ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>). CO<sub>2</sub> ne samo da utječe na stvaranje efekta staklenika koji utječe na sve aspekte u okolišu, već negativno utječe na biljke i ekosustave.<sup>1</sup> Zbog sve većih emisija stakleničkih plinova u atmosferu, koji su produkt izgaranja fosilnih goriva i drastičnih klimatskih promjena kao što je podizanje prosječne temperature na Zemlji, sve se više potiče proizvodnja i korištenje bioenergije, odnosno biomase i biogoriva.<sup>2</sup> Biogoriva prilikom izgaranja proizvode manje koncentracije štetnih stakleničkih plinova, nego što je to kod fosilnih goriva. A osim što su manje koncentracije plinova izgaranja, smanjuje se i količina proizvedenog otpada kojeg dobivamo iz kućanstva i prehrambene industrije.<sup>3,2</sup> U većini slučajeva pojam 'biogoriva' se smatra kao organska tekućina koja ima kapacitet da zamjeni dosadašnja fosilna goriva, međutim mora se naglasiti kako su biogoriva vrlo raznolika i da ima različitih tipova, te postupaka dobivanja, što ćemo vidjeti u nastavku.<sup>4</sup> Biogorivo se klasificira pod obnovljivim izvorom energije, upravo zato što se njegovim gorenjem Sunčeva energija koja je pohranjena u kemijskim vezama unutar biogoriva pretvara u toplinsku energiju, što je u skladu sa strategijom održivog razvoja.<sup>5</sup> Fosilna goriva čine 77 % ukupne svjetske potrošnje, dok biogorivo čini čak 10 % globalne opskrbe kao primarnim izvorom energije. Najviše se koristi upravo u cestovnom prometu jer ne zahtijeva znatne promjene na postojećim motorima.<sup>3,2</sup>

## 2. BIOMASA

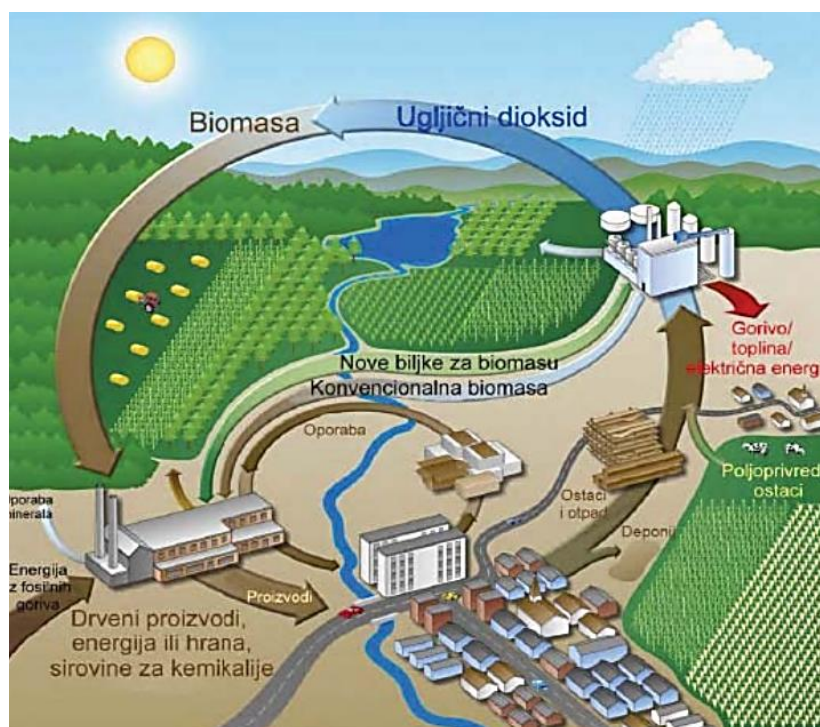
Biomasa se ubraja u obnovljive izvore energije koji se temelji na cirkuliranju ugljika u okolišu, to je biorazgradivi dio nekog proizvoda, komunalnog, industrijskog i šumskog otpada, te tvari biljnog i životinjskog porijekla. Suha biomasa uglavnom sadrži ugljik (C), vodik (H<sub>2</sub>) i kisik (O<sub>2</sub>) u omjeru 1:1,4:0,6 . A kao glavne organske komponente biomase su celuloza, hemiceluloza, lignin, pepeo, te u manjim količinama lipidi, bjelančevine i škrob. <sup>6</sup> Energija koja se dobiva iz biomase može biti čvrstog, tekućeg i plinovitog agregatnog stanja. Produkti koje dobivamo iz biomase a kasnije koristimo kao izvor energije nazivamo biogorivima. Ostaci koji su dobiveni iz poljoprivrednog, šumskog i industrijskog otpada se koriste za dobivanje toplinske i električne energije, a također se prerađuje u plinovita i tekuća biogoriva.<sup>7</sup> Pa tako su biogoriva tekućeg agregatnog stanja biodizel, bioetanol i biometanol, a plinovitog bioplin, deponijski plin i plin iz rasplinjavane biomase. <sup>8</sup> Biomasa se dijeli na četiri glavne kategorije korištenja:

- Drvo i drvni otpad (64 %),
- Čvrsti komunalni otpad (24 %),
- Poljoprivredni otpad (5%),
- Odlagališne plinove (5%).<sup>T</sup>

Procesi dobivanje energije iz biomase:

1. Izgaranje. Izgaranjem biomase se direktno dobiva toplinska energija koja se može koristiti za grijanje i dobivanje električne energije u malim termoelektranama.
2. Fermentacija u alkohol. Najpoznatija i najrazvijenija kemijska metoda uporaba biomase. Koristi se za dobivanje etanola i biodizela iz uljane repice i nekih drugih uljarica.
3. Anaerobna digestija. Proces dobivanja bioplina bez prisutnosti kisika O<sub>2</sub> iz biomase. Bioplin sadrži metan i ugljik pa se također može koristiti kao biogorivo. <sup>7</sup>

Prednost korištenja biomase za razliku od fosilnih goriva je upravo to što je daleko smanjena emisija štetnih plinova u atmosferi i reducirano zbrinjavanje otpadnih tvari. Sagorijevanjem biomase i fosilnih goriva se oslobađa ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>). Međutim, emisija CO<sub>2</sub> je održiva tokom korištenja goriva proizvedenog od biomase, upravo zato što je emisija CO<sub>2</sub> prilikom izgaranja biogoriva jednaka apsorbiranoj količini CO<sub>2</sub> koja je potrebna biljkama za fotosintezu. Pa tako možemo reći da je emisija CO<sub>2</sub> zanemariva, odnosno da se iz biomase dobiva neutralno gorivo. <sup>8</sup>



**Slika 1.** Kruženje ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) tijekom uporabe biomase.<sup>8</sup>

## 2.1. Udio vlage

Visok udio vlage u biomasu povećava troškove transporta i prerade biomase.<sup>6</sup> Kako bi se dobilo što bolje iskorištenje biomase i veći udio dobivene energije, poželjno je sušiti biomasu jer upravo smanjenjem vlažnosti se povećava ogrjevna vrijednost. Proces sušenja se provodi pomoću toplog zraka pri temperaturi od 100 °C. Ovaj proces omogućava uklanjanje vlage iz biomase za 20 %.<sup>8</sup>

## 2.2. Udio pepela

Udio pepela odnosno anorganskih tvari u biomasu ovisi o vrsti tla na kojem je biomasa rasla, te o vrsti biljke od koje je dobivena biomasa. Pa tako sadržaj pepela neće biti isti kod mekog i tvrdog drveta, a za vrijeme berbe zbog onečišćenja biomase u tlu sadržaj pepela je veći. Temperatura kojom se pepeo sabija je vrlo bitna, te je za biomasu ona oko 600 do 900 °C, a temperatura taljenja pepela je oko 1000 do 1300 °C.<sup>6</sup>

### 2.3. Drvna biomasa

Drvna biomasa se upotrebljava kao izvrstan energent jednostavnim procesom izgaranja, ona je ujedno i glavni izvor biomase pošto drvo ima vrlo dobar energetska sadržaj. Drvnu biomasu čine šumska biomasa (šumski otpad i ogrjevno drvo) i biomasa iz drvne industrije (otpad nastao pri obradi drvnih masa, prešanje usitnjene biomase). Sječom šuma iskorištena drvena masa za preradu je otprilike 25 do 50 % volumena, dok se ostatak volumena koristi kao biomasa. Kao prevencija od nastajanja šumskih požara bitno je upravljanje šuma što također predstavlja dobar izvor šumske biomase.<sup>6</sup>

Značajke koje se koriste za drvne, odnosno šumske biomase:

- Kemijski sastav,
- Energetska vrijednost,
- Temperatura samozapaljenja i izgaranja,
- Fizikalna svojstva koja imaju utjecaj na ogrjevnu vrijednost biomase kao što su gustoća i vlažnost.<sup>8</sup>



**Slika 2.** Šumska biomasa.<sup>9</sup>

## 2.4. Poljoprivredna biomasa

Poljoprivredna biomasa ili nedrvna biomasa je također vrlo koristan obnovljiv izvor energije, a dobiva se iz prehrambenih ostataka i poljoprivrednog otpada. Ostaci poljoprivredne mase se mogu podijeliti u kategorije:

- Poljski ostaci koji su sastavljeni od materijala koji je ostavljen na poljoprivrednoj radnoj površini ili na voćnjacima poslije usjeva, to podrazumijeva stabljike, žitarice, lišće, sjeme, i sl.
- Procesni ostaci koji su sastavljeni od materijala koji je zaostao poslije prerade usjeva i uporabljiv resurs, to podrazumijeva koru od voća i povrća, korijenje, i sl.<sup>6</sup>

Ogrjevna vrijednost ovisi o udjelu pepela i vlage. Tvari koje čine pepeo nemaju energetska vrijednost, pa znatno utječe na ogrjevnost biomase. Također treba napomenuti da se osim poljoprivrednih ostataka i otpada koriste i uzgajaju brzorastuće biljke s velikim urodima. U Hrvatskoj se kao energetska nasadi uzgajaju topola, vrba i jablan, te biljke bogate uljima i šećerima.<sup>8</sup>



**Slika 3.** Prikaz poljoprivredne biomase: žitarice(gore lijevo)<sup>10</sup>, kora od voća(gore desno)<sup>11</sup>, stabljike bambusa(dolje lijevo)<sup>12</sup> i slama(dolje desno).<sup>13</sup>

### 3. BIOGORIVO

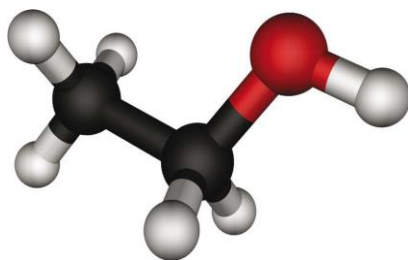
Biogoriva se dobivaju iz prerade biomase, što je najčešće otpad proizveden u kućanstvu, industriji ili neposredno iz biljaka.<sup>14</sup> Biogoriva su jedna od najvažnijih alternativa za tradicionalna fosilna goriva. Njihovom uporabom i proizvodnjom na adekvatan održiv način može se znatno smanjiti emisija štetnih stakleničkih plinova.<sup>15</sup> Ovisno o vrsti materijala kojeg koristimo, troškovima proizvodnje i emisiji štetnih stakleničkih plinova, biogoriva dijelimo na tri generacije: prvu, drugu i treću generaciju.<sup>14</sup>

#### 3.1. Prva generacija biogoriva

Prva generacija biogoriva se temelji na proizvodnji biogoriva od usjeva žitarica, ulja i šećera. Proizvodnja se temelji na pretvorbi šećera iz šećerne trske ili repe, škroba iz krumpira, i ulja iz uljane repice ili palminog ulja. Smatra se da će se usjevi genetski modificirati kako bi zadovoljili uvjete proizvodnje biogoriva. Ovisno o sirovini od koje se proizvodi biogorivo, dobivamo različite vrste.<sup>1</sup> Najpoznatije vrste biogoriva prve generacije su: bioetanol, biodizel i bioplin.<sup>14</sup>

##### 3.1.1. Bioetanol

Bioetanol (alkohol, etilni alkohol, žitni alkohol) je prozirna, zapaljiva bezbojna tekućina, specifičnog okusa i karakterističnog ugodnog mirisa, temperatura vrelišta je 78,4 °C, a tališta -114,3 °C s gustoćom 0,79 g/cm<sup>3</sup>. Pošto ima nisku temperaturu ledišta koristi se kao tekućina u termometrima na temperaturi ispod -40 °C, i kao antifriz tekućina u automobilima. Najčešće korišten etanol u komercijalne svrhe sadrži 95 % etanola i 5 % vode.<sup>14</sup> Uporabu ima u alkoholnim pićima, otapalima, mirisima, aromama, bojilima, kemijskim sintezama, proizvodnji lijekova i kozmetike, te kao zamjensko gorivo benzinu. Upravo zbog svoje molekulske formule C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, sadrži 52 % ugljika (C), 13 % vodika (H<sub>2</sub>) i 35 % kisika (O<sub>2</sub>), ima veliku toplinsku vrijednost što je vrlo pogodno kao biogorivo.<sup>6</sup>



**Slika 4.** Model molekule etanola.<sup>16</sup>

Bioetanol je danas najčešće korišteno tekuće biogorivo gdje se 3 % ukupne svjetske uporabe upotrebljava kao transportno gorivo.<sup>17</sup> Koristi se kao dodatak benzinskom gorivu ili kao njegova potpuna zamjena. Kada se dodaje do 20 % bioetanola u benzinsko gorivo, ne treba se provesti nikakva modifikacija motora, međutim ako se dodaje veći udio bioetanola, na primjer u omjeru od 85 % u gorivu E85, treba djelomično modificirati motor.<sup>6,8</sup> Bioetanol ima veći oktanski broj od mineralnog benzina, što znači da ima šire granice zapaljivosti i veću toplinu izgaranja. Ta svojstva utječu na veći omjer kompresije, kraće vrijeme gorenja i slabije sagorijevanje motora što dovodi do veće učinkovitosti prilikom njegova korištenja. Treba napomenuti kako etanol smanjuje emisije čestica i dušikovih spojeva (NO<sub>x</sub>) prilikom izgaranja zbog sadržaja kisika.

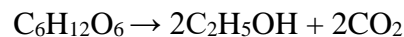
Sirovine kao što su: saharoza, škrob i celuloza, su vrlo prikladne za proizvodnju bioetanola upravo zato što sadrže monosaharide glukozu i fruktozu koji se mogu vrlo lako fermentirati. Proces proizvodnje bioetanola se sastoji od tri osnovne faze:

1. Priprema sirovine, odnosno hidroliza molekule saharoze iz šećerne trske, pomoću enzima, u šećere glukozu i fruktozu koji se u sljedećem koraku fermentira.



Saharoza      Glukoza      Fruktioza

2. Fermentacija je uobičajena metoda za proizvodnju etanola u peći uz pomoć običnog kvasca, poput *Saccha romyces cerevisiae*. Fermentacijom koja traje 24 do 72 h se dobije 8 do 10 %-tni etanol.



Glukoza      Etanol      Ugljikov dioksid

3. Destilacija slijedi poslije fermentacije upravo zato što se dobiva etanol vrlo nikog postotka. Ovim se korakom, koji se odvija u nekoliko sljedova, dobiva 95 %-tni etanol.

Kako bi se dobio čisti 99 %-tni etanol koji se može miješati s benzinom, mora se provesti još jedna destilacija etanola pomiješanog s benzinom.<sup>8</sup>

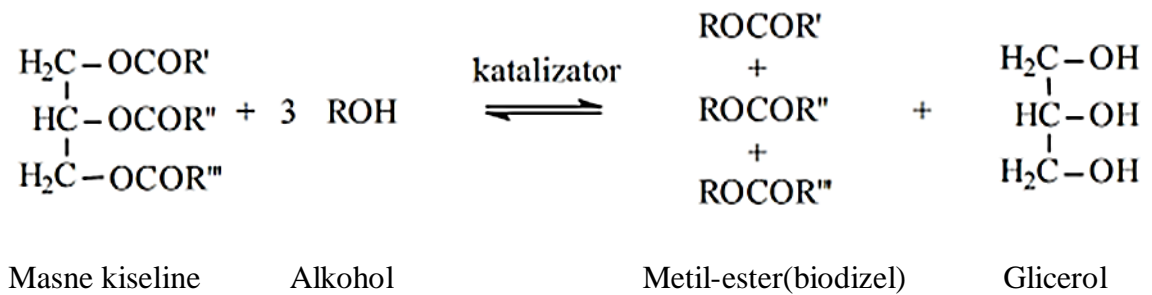
**Tablica 1.** Prinos etanola iz raznih sirovina.<sup>8</sup>

<i>Sirovina</i>	<i>Prinos etanola</i> (l/t)	<i>Prinos sirovine</i> (t/ha)	<i>Prinos alkohola</i> (l/ha)	<i>God. Energija</i> (GJ/ha)
<i>Šećerna trska</i>	70	50	3500	1350
<i>Slatki sirak</i>	86	35	3010	945
<i>Kukuruz</i>	370	6	2200	162
<i>Drvo</i>	160	20	3200	540

### 3.1.2. Biodizel

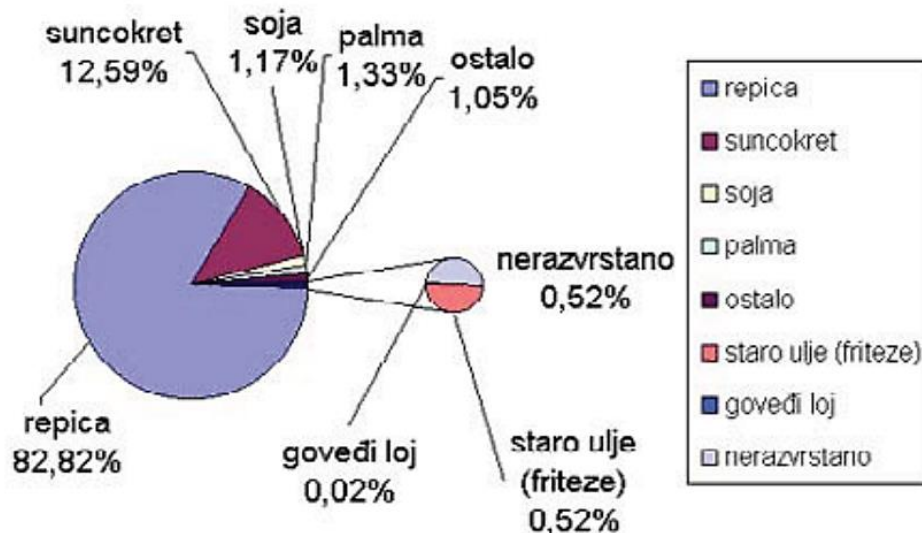
Biodizel (metil-ester, alkilni esteri viših masnih kiselina) je bistra jantarno-žuta tekućina s viskoznosti sličnoj naftnom dizelu, temperatura plamišta je 150 °C. To je tekuće nemineralno, neotrovno, nezapaljivo, neeksplozivno i biorazgradivo gorivo.<sup>6</sup> Dobra je zamjena dizelskom gorivu, jer ima svojstva približno jednaka kao i mineralni dizel. Međutim pri niskim temperaturama biodizel se može gelirati, na što treba provesti mjere opreza. Karakteristika biodizel goriva je smanjena emisija onečišćujućih stakleničkih plinova poput CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> i SO<sub>x</sub>. Ovisno o korištenoj sirovini različita je ukupna emisija ugljikovog dioksida CO<sub>2</sub> (g/km), pa tako kod biodizela dobivenog preradom suncokreta emisija CO<sub>2</sub> iznosi 50 g/km, dok kod biodizela dobivenog preradom uljane repice emisija CO<sub>2</sub> iznosi 110 g/km, a kod mineralnog dizela emisija CO<sub>2</sub> iznosi 220 g/km. Također dolazi do smanjenja emisije ugljikovog monoksida (CO) za 42,7 %, ugljikohidrata za 56,3 %, krutih čestica za 55,3 %, toksičnih tvari za 60 do 90 % i potpuno smanjenje sulfata. Biodizel je biorazgradiv i upravo zbog tog svojstva je nije opasan za okoliš, kad dospije u okoliš razgradi se poslije 28 dana.<sup>8</sup> Dobiva se iz masti i ulja, životinjskog i biljnog porijekla, i iz iskorištenog kuhinjskog ulja.<sup>17</sup> Proizvodi se procesom transesterifikacije u kojem kao supstrate imamo masne kiseline, alkohol koji je manje molekularne mase, odnosno metanol i etanol, i katalizator natrijev hidroksid. Kao produkte reakcije dobivamo biodizel i glicerol.<sup>14</sup> Proces transesterifikacije je vrlo ekonomičan proces za dobivanje biodizela upravo zato što ne zahtijeva visoke temperature i tlakove, nema međuprodukata u reakciji, kratko vrijeme reakcije, a sam proces ima iskoristivost od 98 %, a pošto je reakcija reverzibilna višak alkohola se koristi za pomicanje ravnoteže u stranu produkata. Reaktori u kojima se proizvodi biodizel mogu biti izrađeni od jednostavnih materijala i jednostavne su konstrukcije.<sup>18,6</sup>





Slika 2. Mehanizam transesterifikacije.<sup>19</sup>

Izvori masti i ulja su životinjskog i biljnog porijekla, a najčešće korištena ulja su: ulje repice (82,82 %), suncokretovo ulje (12,59 %) i palmino ulje (1,33 %).<sup>8</sup> Također veliki potencijal za proizvodnju biodizela imaju alge, upravo zato što one sadrže masne stanice koje ih održavaju na površini, ta masnoća se može sakupljati i koristiti u procesu proizvodnje biodizela.<sup>20</sup>



Slika 5. Osnovne sirovine za proizvodnju biodizela u Europi.<sup>8</sup>

### 3.1.2.1. Cetanski broj

Cetanski broj (CN) je mjera kvalitete kod paljenja dizelskih goriva. Kod dizelskih goriva koja imaju visoki cetanski broj karakterizira ih kratko kašnjenje prilikom paljenja što ostavlja više vremena za potpunije izgaranje goriva. Takva goriva su najučinkovitija kod dizelskih motora velikih brzina. Cetanski broj je veći kod ugljikovih lanaca dužih masnih kiselina, što upravo karakterizira biogoriva. Dok goriva koja imaju niski cetanski broj su pogodnija za niže temperature rada, jer hlađenjem takvih goriva nema geliranja goriva, dok kod većih CN gorivo pri niskim temperaturama se pretvara u gel.<sup>6</sup>

**Tablica 2.** Cetanski brojevi različitih vrsta masnih kiselina.<sup>6</sup>

<i>Izvor biodizela</i>	<i>Cetanski broj</i>
<i>Suncokret</i>	49
<i>Soja</i>	46
<i>Palma</i>	62
<i>Kikiriki</i>	54
<i>Loj(životinjska mast)</i>	58

### 3.1.3. Bioplin

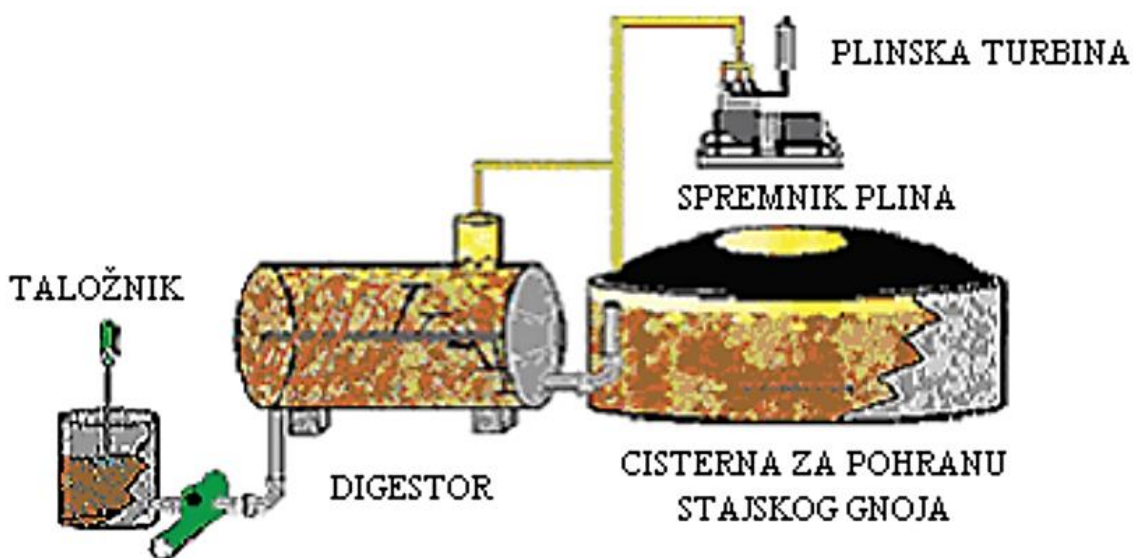
Bioplin je smjesa plinova u kojoj prevladavaju plinovi: 40-75 % metan (CH<sub>4</sub>), 25-60 % ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) i 2 % ostali plinovi (vodik (H<sub>2</sub>), sumporovodik (H<sub>2</sub>S) i ugljikov monoksid (CO)).<sup>17</sup> Lakši je od zraka za oko 20 %, plin je bez boje i mirisa, gori čisto plavim plamenom, a gori na temperaturi između 650 do 750 °C.<sup>8</sup> Bioplin se koristi kao izvor električne energije, služi kao gorivo u motorima s unutarnjim izgaranjem, te za grijanje vode i prostorija. Osim što je pogodno gorivo, korištenjem bioplina se smanjuje koncentracija CH<sub>4</sub> tako što se CH<sub>4</sub> pretvara u CO<sub>2</sub> kojeg biljke mogu apsorbirati. Ekstrahira iz otpadnih voda, odlagališta otpada i drugih izvora biomase. Dobiva se iz procesa anaerobne pretvorbe organskih tvari, odnosno biomase porijeklom iz biljnih i životinjskih organizama, uz pomoć anaerobnih mikroorganizama. Taj proces se ujedno naziva i anaerobna digestija.<sup>21</sup> Proces anaerobne digestije se odvija u digestoru, odnosno fermentatoru. To je nepropusni, toplinski izolirani i grijani spremnik u obliku silosa, koji može biti napravljen od betona, čelika ili cigle. Smješten je iznad ili ispod površine tla. U digestor ulazi biomasa, a izlazi bioplin i digestat koji se koristi kao vrlo hranjivo organsko gnojivo.

Faze nastanka bioplina u digestoru:

1. Hidroliza. Tijekom hidrolize velike organske molekule se raspadaju na manje organske molekule. Npr. ugljikohidrati, lipidi, aminokiseline i bjelančevine se transformiraju u glukozu, glicerol, purine, piridine. U procesu sudjeluje veliki broj bakterija koje izlučuju enzime, koji razgrađuju biomasu.
2. Acidogeneza. Acidogene bakterije transformiraju organske molekule iz procesa hidrolize u metanogene spojeve. Jednostavni šećeri, aminokiseline i

masne kiseline se razgrađuju na acetat, ugljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ), vodik ( $\text{H}_2$ ), hlapljive masne kiseline i alkohole.

3. Acetogeneza. Spojevi koji se ne mogu direktno transformirati u metan se transformiraju u metanogene spojeve uz pomoć metanogenih bakterija. Dok hlapljive masne kiseline i alkoholi oksidiraju u acetate i vodik.
4. Metanogeneza. Završna faza u nastanku bioplina u kojoj se dobiva smjesa plinova metana ( $\text{CH}_4$ ) i ugljikovog dioksida ( $\text{CO}_2$ ).<sup>22</sup>



Slika 6. Dobivanje bioplina.<sup>8</sup>

### 3.2. Druga generacija biogoriva

Biogoriva druge generacije se proizvode preradom biomase iz otpada poljoprivrednog i šumskog porijekla, najčešće su to šumska biomasa, kora drveta, lišće, otpadno jestivo ulje, te ostali prehrambeni proizvodi koji nisu prikladni za ljudsku konzumaciju.<sup>23</sup> Drugu generaciju biogoriva karakterizira smanjenje emisije ugljikovog dioksida  $\text{CO}_2$ , kao resursi se koriste otpadne tvari biološkog porijekla, te neke vrste biogoriva druge generacije omogućuju bolji rad motora. Najpoznatije vrste biogoriva druge generacije: biohidrogen, bio – DME, biometanol, DMF, Fischer – Tropsch sinteza i bio – MTBE.<sup>14</sup>

### 3.2.1. Biohidrogen

Biohidrogen (biovodik) je čisto obnovljivo gorivo koje pri izgaranju oslobađa energiju. Oslobođena energija se zatim u ćelijama za gorivo, tzv. gorivnim ćelijama, pretvara u električnu energiju. Nema emisije stakleničkih plinova, a kao nusprodukt procesa je voda, što ga čini vrlo pogodnim za korištenje. Smatra se da će biti jedno od najzastupljenijih biogoriva u budućnosti s čak 20 % opskrbe, od čega 20 do 50 % u prometu i 5 do 20 % u industriji. <sup>14,24</sup> Njegovo korištenje u vozilima ne zahtijeva nikakve promijene s obzirom na duljinu putovanja i punjenje vozila, upravo zato što sam vodik je dobar za veliko i dugotrajno skladištenje energije. Proizvodnja biohidrogena je vrlo zahtijevan proces s obzirom na okoliš i ekonomski je neisplativ jer su potrebna ulaganja u distribucijsku mrežu biohidrogena, što znatno otežava njegov transport. Tehnološki procesi proizvodnje biohidrogena su kemijske, biološke, elektrolitičke, fotolitičke i termo kemijske tehnologije. <sup>25</sup>

Proizvodnja biohidrogena se odvija pomoću:

- Mikroalgi i cijanobakterija procesom biofotolize,
- Enzima hidrogenaza i nitrogenaza ,
- Fotosintetskih bakterija,
- Kombinacijom fotosintetskih i anaerobnih bakterija. <sup>14</sup>

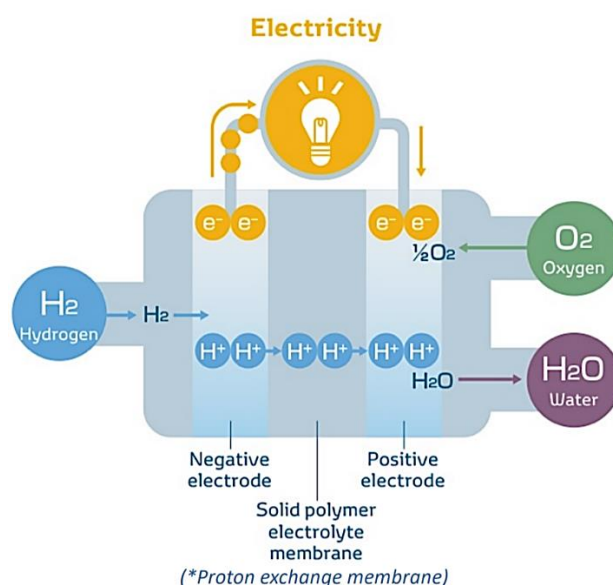
Da će vodik zamijeniti većinu goriva u budućnosti imamo i primjer električnih automobila koji za pogon koriste električnu energiju, a kao izvor energije koriste bateriju vrlo velikog kapaciteta ili gorivni članak sa spremnikom vodika. Za 100 km vožnje automobilom, utrošak biohidrogena, odnosno vodika, je 1 kg. <sup>26</sup>



**Slika 7.** Toyota Mirai, jedan među prvim automobilima koje ima vodikove gorivne članke. <sup>27</sup>

### 3.2.1.1 Gorivni članak

Gorivni članak tzv. *elektrokemijski motor* je uređaj koji izravno pretvara kemijsku energiju u električnu i toplinsku, nema procesa izgaranja goriva pa je pogodan za okoliš, ne stvara buku jer nema pokretnih dijelova, ima sličan princip rada kao motori s unutarnjim izgaranjem jer mu treba kontinuirani dotok kisika ( $O_2$ ) i vodika ( $H_2$ ), međutim radi pri niskim temperaturama od  $70\text{ }^\circ\text{C}$ .<sup>28</sup> Članak se sastoji od dvije elektrode i elektrolita oko kojeg su elektrode spojene. Reakcija se provodi tako da  $H_2$  prelazi na anodu (negativna elektroda) gdje reagira i oslobađa elektrone. Elektroni putuju prema katodi (pozitivna elektroda) te se manifestiraju kao električna struja, dok vodikovi pozitivni ioni  $H^+$  reagiraju s  $O_2$  i kao produkt te reakcije se proizvodi vodena para. Ovakvim principom rada se dobiva vrlo visoka učinkovitost goriva oko 60 %.<sup>6,29</sup>



Slika 8. Prikaz elektrokemijskog motora.<sup>29</sup>

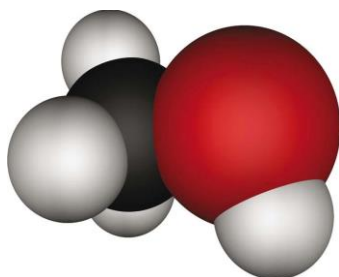
### 3.2.2. Bio-DME

Bio-DME (dimetil eter, metoksimetan, drveni eter, dimetil oksid) najjednostavniji je eter bezbojan, netoksičan, blago opojan, visokozapaljiv plin u okolišnim uvjetima, ali pri tlakovima iznad 5 bara ili na temperaturi ispod  $-25\text{ }^\circ\text{C}$  je kapljevin. Može se proizvest korištenjem sintetičkog biometanola iz biomase. Koristi se kao zamjena za propan u kapljevatom naftnom plinu i dizelskom gorivu u transportu.<sup>14,30</sup> Bio-DME ima visoki oktanski broj koji pogoduje dizelskim motorima unutar kojih gori vrlo čisto bez čađe. Motor koji je prilagođen radu na Bio-DME gorivo ima veću učinkovitost, bolju kilometražu, te smanjenje emisija plinova izgaranja u atmosferu.<sup>30</sup> Proizvodnja Bio-DME se provodi procesom katalitičke dehidracije, gdje se dobiva čisti metanol, koji je proizveden iz ugljena, biomase ili

prirodnog plina, kemijskim odvajanjem vode od metanola. Takvo gorivo ima visoku energetska učinkovitost i zato je vrlo pogodno za primjenu pri transportu. Primjenjuje se kao pogonsko gorivo, te za proizvodnju električne i toplinske energije.<sup>31</sup>

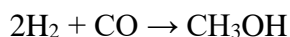
### 3.2.3. Biometanol

Biometanol (metanol) je alkohol najjednostavnije strukture i kemijske formule CH<sub>3</sub>OH, bezbojna tekućina, vrlo zapaljiv, miješa se s vodom i drugim otapalima u svim omjerima, vrlo otrovan, gori nevidljivim plamenom, ima temperaturu vrelišta 64,5 °C. u okolišu se nalazi kao esterski vezan u biljnim tvarima, pa se može dobiti procesom alkoholnog vrenja i pri pougljenjivanju drva.<sup>32</sup>



**Slika 9.** Model molekule metanola.<sup>33</sup>

Također se proizvodi i iz sintetičkog plina koji je dobiven iz biomase.<sup>14</sup> Sintetički plin je mješavina gorivih plinova, a sastoji se od vodika (H<sub>2</sub>), ugljikovog monoksida (CO) i ostalih plinova.



Reakcija dobivanja metanola iz sintetičkog plina se odvija na gore naveden način uz prisutnost katalizatora i Ni, Cu/Zn, Cu/SiO<sub>2</sub>, Pd/SiO<sub>2</sub> i Pd/ZnO. Također se može dobiti i obnovljivi metanol, a on se proizvodi direktno iz biomase ili iz sintetičkog plina. Sastav sintetičkog plina možemo vidjeti iz Tablice 3.<sup>6</sup>

**Tablica 3.** Sastav sintetičkog plina proizvedenog iz biomase.<sup>6</sup>

<i>Komponenta</i>	<i>Volumen % (bez vode i dušika)</i>
<i>Ugljikov monoksid (CO)</i>	28-36
<i>Vodik (H<sub>2</sub>)</i>	22-32
<i>Ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>)</i>	21-30
<i>Metan (CH<sub>4</sub>)</i>	8-11
<i>Etan (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)</i>	2-4

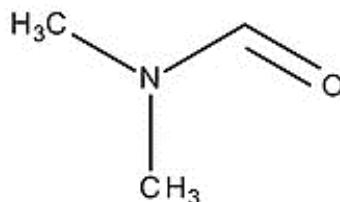
Goriva koja su dobivena iz sintetičkih plinova imaju jednaku emisiju stakleničkih plinova kao i fosilna goriva, međutim smanjen je utjecaj sumpora (S) i aromata, te su prihvatljivija i manje štetna za zdravlje i okoliš.<sup>25</sup>

Koristi se kao zamjena goriva s visokim oktanskim brojem. Međutim pošto je vrlo otrovan provode se posebne mjere opreza, u EU je dopušten do 3 %.<sup>25</sup> Vrlo ga je teško skladištiti jer je nekompatibilan s materijalima za skladištenje i prijenosa fosilnih goriva kao što u aluminij, magnezij, gumeni materijali, brtve i brtveni materijali. Snaga biometanola kao goriva je dvostruko manja nego što je to kod benzina, pa tako biometanol ima energiju 16 MJ/litra, benzin 32 MJ/litra.<sup>6</sup> Biometanol koji se miješa s naftom 10 do 20 % može se koristiti u već postojećim motorima, bez ikakvih modifikacija motora.<sup>14</sup> Biometanol kao gorivo se koristi u elektranama i gorivnim člancima, za proizvodnju električne energije u plinskim turbinama, te za zagrijavanje prostora.<sup>34</sup> Proizvodnja biometanola se provodi u dvije faze, a kao sirovine se koriste biomase s visokim udjelom celuloze. U prvoj fazi, faza sinteze, se biomasa prebacuje u plinoviti međuprodukt kako bih se sintetizirao metanol. Druga faza je faza rasplinjavanja ona je još u razvoju, za razliku prve faze koja je poznata.<sup>8</sup>

#### **3.2.4. DMF**

DMF (dimetilformamid) je organski spoj koji ima vrlo slična svojstva benzinu, ima visok oktanski broj i vrlo nisku moć isparavanja. Tokom skladištenja je vrlo stabilan i nije topiv u vodi što znači da neće reagirati s vlagom u atmosferi. Pošto ima vrlo slična fizikalno-kemijska svojstva kao i benzin, te slične karakteristike izgaranja kao i kod benzina, predstavlja njegovu vrlo dobru alternativu. Emisije ugljikovodika i dušikovih spojeva (NO<sub>x</sub>)

su također slične kod oba goriva.<sup>35</sup> Osim kao zamjena dizelskom gorivu koristi se i kao otopina u kemijskim reakcijama, u farmaciji, prilikom proizvodnje pesticida, sintetičkih vlakana i sličnih materijala. Proizvodnja DMF-a se zasniva na reakciji dimetilamina ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>NH) i ugljikovog monoksida (CO) pri niskoj temperaturi i tlaku reakcije.<sup>14</sup>



**Slika 10.** Strukturna formula DMF-a.<sup>36</sup>

### 3.2.5. Fischer–Tropsch sinteza

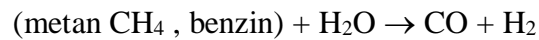
Proizvodnja sintetičkog goriva se provodi uz katalitičku kemijsku reakciju Fischer-Tropschova sinteza. Sintetička goriva se mogu proizvoditi od različitih ulaznih sirovina kao što su biomasa, prirodni plin, ugljen ili plastični otpad. Sama reakcija se odvija tako da ugljikov monoksid (CO) i vodik (H<sub>2</sub>) iz ulazne sirovine se pretvaraju u različite oblike tekućih ugljikovodika uz prisustvo katalizatora kao što su željezo (Fe) i kobalt (Co).



Osim kao zamjena za fosilna goriva, sintetička goriva se upotrebljavaju i kao sintetičko ulje za podmazivanje.<sup>14,25</sup> Fischer-Tropschovom sintezom se dobiva visokoučinkovito i vrlo čisto sintetičko gorivo, također se dobivaju i ulja koja mogu biti bez ili s vrlo malim postocima sumporovih spojeva, teških metala i aromatskih ugljikovodika koji su vrlo štetni za okoliš. Goriva su vrlo pogodna za okoliš, međutim zahtijevaju velika ulaganja i detaljnija istraživanja proizvodnje kako bi se mogla koristiti u svakodnevnom životu. Kod postojećih infrastruktura nisu potrebne izmjene, jer se goriva mogu skladištiti, distribuirati i koristiti, a postrojenja se jednostavno mogu prilagoditi za proizvodnju na principu gorivnih članaka.<sup>37</sup> Sintetička parafinska goriva su na bazi hidrogeniziranih biljnih ulja (HVO) i mogu se miješati s dizelskim gorivom u visokim omjerima. Benzinsko mineralno gorivo se može miješati sa sintetičkim gorivima na bazi alkohola, a najpoznatiji je metanol.<sup>25</sup> Postupci dobivanja sintetiziranog plina:



1. Proces parnog reformiranja je proces dobivanja nižih ugljikovodika, poput metana i benzina, i vodene pare korištenjem 'lakih' sirovina. Proces se odvija uz pomoć endotermne reakcije, pri temperaturi 700 do 800 °C i tlaku oko 20 bara, i heterogenih katalizatora. Sastoji se od dvije faze: uklanjanje spojeva koji sadrže sumpor iz sirovine i pretvorbe sirovine u sintezi plin.



2. Proces djelomične oksidacije je proces u kojem sudjeluju 'teške' sirovine koje sadrže veći udio sumporovih spojeva. Upravo zbog toga se postupak mora provoditi pri visokim temperaturama i bez katalizatora.
3. Uplinjavanje ugljena se provodi endotermnom reakcijom pri visokim temperaturama 900 do 1000 °C ugljena s vodenom parom, kao produkt te reakcije dobivamo tzv. vodeni plin.<sup>37</sup>

### 3.2.5.1. Fischer – Tropsch dizel

Fischer-Tropsch dizel je gorivo vrlo slično dizelskom naftnom gorivu po gustoći, viskoznosti i sadržaju energije, još se naziva i dizel druge generacije. Fischer- Tropsch dizel ima visoki cetanski broj i nizak sadržaj aromatskih ugljikovodika, što kao produkt ima niski udio emisije čestica, ugljikovog monoksida (CO) i dušikovih oksida (NO<sub>x</sub>) za razliku od naftnog mineralnog dizela. Karakteristika biogoriva je da ima vrlo dobro samozapaljenje, pošto se sastoji od ravnih lanaca ugljikovodika, ne sadrži aromatske ugljikovodike ni sumpor (S). Može se koristiti kao samostalno gorivo ili se može miješati s naftnim dizelom u bilo kojem omjeru, a da pritom nema nikakve izmjene infrastrukture motora ili izmjene motora.<sup>6</sup>



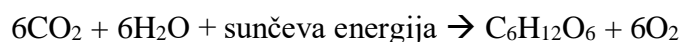
**Slika 11.** Prikaz Fischer-Tropsch dizela (lijevo) i mineralnog dizela(desno).<sup>38</sup>

### 3.2.6. Bio– MTBE (metil-terc-butil-eter)

Metil terc-butil eter ili MTBE je bezbojna tekućina specifičnog neugodnog mirisa po anestetiku, vrlo je zapaljiv, vrelište mu je pri 55 °C a talište pri -7,8 °C, njegove su pare teže od para zraka i opojne su. Manje je gustoće od vode, te se miješa s vodom. Ima vrlo izražen okus i miris vrlo sličan terpentinu, smoli crnogoričnih drveća. Proizvodi se miješanjem izobutilena i biometanola uz katalizator i pri višim temperaturama i tlaku. Koristi se kao dodatak bezolovnom benzinskom gorivu jer ima ulogu nepolarnog otapala, te povećava oktanski broj i smanjuje emisije ugljikovog monoksida (CO). A u prošlosti se koristio za proizvodnju izobutena. Većinski MTBE se proizvodi u SAD-u.<sup>39</sup> MTBE je sastavni dio benzinskog goriva jer smanjuje emisiju štetnih stakleničkih plinova za otprilike 11 % po volumenu. Bitan je prilikom emisije ugljikovog monoksida (CO), upravo jer smanjuje njegovu emisiju tako da prilikom izgaranja goriva potiče na potpuno izgaranje. Osim smanjenja emisija stakleničkih plinova, MTBE neizravno smanjuje stvaranje ozona (O<sub>3</sub>) i hlapljivih i otrovnih spojeva koja se nalaze u benzinskom gorivu.<sup>40</sup>

### 3.3. Treća generacija biogoriva

Treća generacija biogoriva se zasniva na proizvodnji biogoriva iz algi. Prinos goriva iz algi veći je u odnosu na biogoriva druge generacije. Alge se koriste upravo zato što imaju veliku učinkovitost pretvaranja sunčeve energije u kemijsku energiju zbog svoje visoke stope fotosintetskog rasta, sadrže veliki udio lipida, a kod nekih vrsta do 50 % njihove mase ima udio ulja, visoku stopu apsorpcije ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) za proces fotosinteze, te ne zahtijevaju veliku površinu zemljišta. Proces fotosinteze:



Ciklus rasta kod algi je vrlo kratak, jer su one najbrže rastući organizmi koji za rast koriste fotosintezu, i traje 1 do 10 dana. Upravo zbog toga alge su odlična sirovina za proizvodnju biogoriva jer dozvoljavaju kontinuiranu 'žetvu' s velikim prinosima. Godišnje se od algi proizvede oko 40 tona biogoriva, to je znatno više od biljnog ulja za 7 do 31 puta više, a za 200 puta više od soje.<sup>6,41</sup> Proizvodnja biogoriva iz algi ima puno prednosti kao što su:

- Sposobnost rasta algi tijekom cijele godine,
- Visoka tolerancija na velike udjele CO<sub>2</sub>,
- Minimalna potrošnja vode prilikom uzgoja,

- Nema zahtjeva za uporabom herbicida i pesticida,
- Koriste otpadne vode kao izvor hranjivih tvari za rast poput dušika i fosfora,
- Mogu rasti u zahtjevnim uvjetima poput slane vode, bočate vode, obalne morske vode,
- Zemljišta koja nisu pogodna za poljoprivredu se mogu koristiti za uzgoj algi.

Alge se uzgajaju u otvorenim i zatvorenim ribnjacima, fotobioreaktorima i hibridnim sustavima. Sustav u kojem se uzgajaju alge treba imati karakteristike:

- Veliko područje,
- Visoka produktivnost,
- Mala ulaganja,
- Niski troškovi uzgajanja,
- Lakša kontrola kulturnih parametara.<sup>41</sup>

Prilikom proizvodnje biogoriva treće generacije, ne samo da se dobiva biogorivo već se može i provesti proces pročišćavanja otpadnih voda i smanjenje ugljikovog dioksida u atmosferi.



**Slika 12.** Prikaz farmi na kojima se uzgajaju mikroalge.<sup>42</sup>

Proizvodnja biogoriva iz algi je vrlo učinkovit i ekološki prihvatljiv način proizvodnje. U Tablici 4. možemo vidjeti mikroalge koje se koriste za proizvodnju biogoriva.

**Tablica 4.** Mirkoalge koje proizvode određene vrste biogoriva.<sup>41</sup>

<i>Vrsta biogoriva</i>	<i>Mikroalga</i>
<i>Bioetanol</i>	<i>Chlorococcum sp.</i> <i>Spirogyra</i> <i>Undaria pinnatifida</i> <i>Chlorella vulgaris</i> <i>Chlamydomonas reinhardti</i>
<i>Biodizel</i>	<i>Botryococcus braunii</i> <i>Schizochytrium sp.</i> <i>Chlorella sp.</i>
<i>Sintetički plin</i>	<i>Chlorella vulgaris</i> <i>Cladophora fracta</i> <i>Botryococcus braunii</i>

Biomasa algi može se pretvoriti u biogorivo pomoću nekoliko procesa: biokemijska pretvorba i termokemijska pretvorba.<sup>41</sup>

### 3.3.1. Biokemijska pretvorba

Biokemijski procesi su: anaerobna digestija i alkoholno vrenje. Prilikom provedbe biokemijske pretvorbe, najprije se mora provesti prethodna obrada prilikom čega se tvrda stanična stijenka mikroalgi razbija i oslobađaju se stanične komponente. Za prethodne metode koristimo:

- Fizikalne metode - ultrazvučna obrada, mljevenje, glodanje i piroliza
- Kemijske metode - termička obrada, obrada kiselinom ili lužinom
- Biološke metode – dodavanje enzimima.<sup>41</sup>

#### 3.3.1.1. Anaerobna digestija

Anaerobna digestija je proces dobivanja metana (CH<sub>4</sub>) i ugljika (C) iz mikroalgi kao sirovine. U tom slučaju od mikroalgi možemo dobiti bioplin metan koje kasnije koristimo kao gorivo. Proces je učinkovit jer se može cijela biomasa algi pretvoriti u bioplin u samo jednom koraku. Anaerobni proces podrazumijeva i anaerobne bakterije koje ga vrše. A proces je vrlo pogodan za pročišćavanje čvrste otpadne vode i komunalnih kanalizacija.<sup>41</sup>

### 3.3.1.2. Alkoholna fermentacija

Alkoholna fermentacija je proces u kojem se ugljikohidrati koji su prisutni u biomasi algi pretvaraju u alkohol, najčešće su to etanol i butanol, uz prisustvo mikroorganizama kao što su bakterije, kvasci i gljivice. Mikroorganizmi fermentiraju ugljikohidrat u alkohol i ugljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ), a  $\text{CO}_2$  se koristi prilikom uzgajanja algi. Butanol se trenutno ne koristi kao biogorivo, već kao dodatak benzinu miješajući se u višim koncentracijama, dajući više energije po jedinici mase. Također dobivamo i vodik ( $\text{H}_2$ ) kao nusprodukt aceton-butanol-etanol vrenja. Pa se tako u jednom koraku, odnosno procesu, mogu dobiti kapljevita i plinovita vrlo vrijedna biogoriva.<sup>41</sup>

### 3.3.2. Termokemijska pretvorba

Pod termokemijske procese ubrajamo: rasplinjavanje, ukapljivanje i pirolizu. Stanice mikroalgi se suše zamrzavanjem i obrađuju ultrazvučno, a ugljikovodici se odvajaju uz pomoć ekstrakcije organskim otapalima. Nedostatak ovih metoda je što nisu ekonomične, skupe su za korištenje i nisu prikladne u velikim razmjerima kao što je proizvodnja biogoriva. Zato se koriste učinkovitije metode kao što je ukapljivanje. Ukapljivanje je metoda koja služi za odvajanje ugljikovodika iz stanica algi koje sadrže veliku količinu vlage i dobivanje biogoriva. Proces se odvija pri temperaturi od 848 °C i tlaku 10 MPa, uz korištenje natrijevog karbonata ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) kao prikladnog katalizatora. U procesu rasplinjavanja se dobiva sintetički plin iz različitih vrsta sirovina kao što je mikroalga. Biomasa reagira sa zrakom s niskom koncentracijom kisika pri visokim temperaturama od 800 do 1000 °C. Kao produkt se dobiva sintetički plin koji se sastoji od ugljikovog monoksida ( $\text{CO}$ ), vodika ( $\text{H}_2$ ), ugljikovog dioksida ( $\text{CO}_2$ ), dušikovog dioksida ( $\text{NO}_2$ ) i metana ( $\text{CH}_4$ ).<sup>41</sup>

#### 4. UTJECAJ BIOGORIVA NA OKOLIŠ

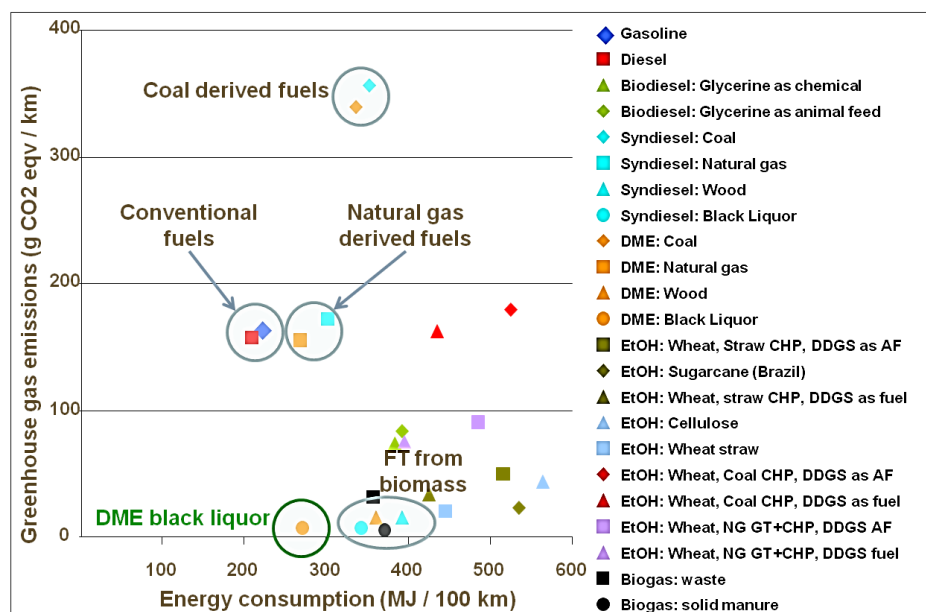
Biogoriva su alternativna goriva koja će zamijeniti dosadašnja fosilna goriva. Biogoriva i naftna goriva se razlikuju po kemijskim svojstvima, a najveća razlika je u sadržaju kisika ( $O_2$ ), pa tako biogorivo ima 10 do 45 % kisika za razliku od naftnih goriva koji nemaju kisika u svojoj strukturi.<sup>6</sup> Trenutno se najviše koriste prilikom miješanja s naftnim gorivima, kao što su to bioetanol i benzin, i biodizel i naftni dizel. Iako se miješaju takva goriva poprimaju bolja svojstva, te manje utječu na okoliš. Biogoriva imaju puno prednosti nad fosilnim gorivima pa tako:

- Smanjene su ili potpuno uklonjene emisije štetnih stakleničkih plinova poput: ugljikovog dioksida ( $CO_2$ ), ugljikovog monoksida ( $CO$ ), dušikovih oksida ( $NO_x$ ), spojeva koji sadrže sumpor, emisija čestica.
- Uporabom biogoriva  $CO_2$  kao staklenički plin kruži u okolišu.
- Povećava se kvaliteta zraka što pogoduje na kvalitetu ljudskog zdravlja.
- Korištenjem biogoriva se smanjuje potražnja za fosilnim gorivima, te se smanjuje njihovo korištenje i iskopavanje, što pridonosi većoj učinkovitosti zaštite okoliša.
- Većina biogoriva pošto su proizvedena iz biomase, je biorazgradivo i nije otrovno.
- Stabilnija su te je manja opasnost od zapaljenja, eksplozija i sigurnije je skladištenje.<sup>43</sup>

Međutim biogoriva mogu imati utjecaj na okoliš u svim fazama proizvodnje isto kao i naftna goriva. Biogoriva se prilikom transporta mogu proliti i prodrijeti u tlo i podzemne vode, prilikom proizvodnje iscuriti iz pogona, te ispariti tijekom punjenja u spremnike i skladištenja. Iako su sve ove situacije štetne za okoliš, korištenjem kvalitetnijih, stabilnijih i čistijih biogoriva koja su manje otrovna od fosilnih goriva, nije posebna briga jer su daleko manje emisije isparavanja kod biodizelskog i čistog bioetanola goriva. Međutim primarna briga u vezi emisija izgaranja biogoriva u transportu se odnosi na nižu razinu mješavine etanola i benzina. Pa tako ako se pomiješa 40 % etanola s benzinom, ta dva goriva zajedno imaju veću emisiju isparavanja nego svako od njih zasebno. Problem emisija isparavanja iz sustava za gorivo u transportnim sredstvima je povećanje onečišćenja s ozonom ( $O_3$ ). Razina emisije ispušnih plinova kod biodizela i bioetanola ovisi o sirovini i mješavini goriva, o tehnologiji vozila koji koristi biogorivo, podešavanju vozila i ciklusu vožnje. Utvrđeno je kako goriva proizvedena iz biomase imaju značajno smanjenje onečišćujućih tvari i

smanjenje emisije otrovnih spojeva, također je utvrđeno kako povećanjem razine mješavine se blago povećava emisija  $\text{NO}_x$ .<sup>1</sup> Kod biogoriva njihov prijevoz, korištenje i rafiniranje ima daleko manji utjecaj, a postoje i načini kako bi se poboljšala učinkovitost resursa i proizvodnje. Najveći problem prilikom proizvodnje ulja koje se koristi za proizvodnju biogoriva je ograničenje zemljišta. Pa tako prilikom uzgoja visokorodne uljarice palme, zahtjeva se 24 % obradive površine u SAD-u kako bih se zadovoljilo 50% biogoriva za transport. Još jedan nedostatak kod proizvodnje biogoriva je da biodizel druge generacije za proizvodnju uključuje otpadno ulje, kao što su reciklirana ulja iz prehrambene industrije, domaćinstva i restorana. Otpadna ulja sadrže više slobodnih masnih kiselina i više vode, a manje triglicerida za razliku od svježih ulja. Pa zato otpadna ulja zahtijevaju predobradu odnosno pročišćavanje, kako bi se mogla koristiti prilikom procesa transesterifikacije.<sup>4,1</sup> Uporaba biogoriva bi mogla značajno smanjiti lokalno i regionalno onečišćenje zraka, pojavu kiselih kiša i zdravstvene probleme kao što su astma, bolesti srca i pluća, te karcinome. Tehnologije i standardi se poboljšavaju i razvijaju, tako da će biogoriva sljedeće generacije dati veliki doprinos u smanjenju onečišćenja zraka u prometnom sektoru. Bioetanol će se koristiti kao zamjena za olovo, benzin i ostale štetne tvari. Vrlo je bitan što brži prelazak na korištenje biogoriva kod zemalja koje imaju visoko onečišćenje urbanih sredina, upravo kako bi se smanjile emisije štetnih tvari.<sup>1</sup>

#### 4.1. Usporedba biogoriva



Slika 13. Usporedba goriva s obzirom na emisiju stakleničkih plinova i potrošnju energije.<sup>31</sup>

## 5. UJECAJ BIOGORIVA NA GOSPODARSTVO

Fosilna goriva jesu jeftinija od biogoriva, međutim u njihovu cijenu nisu obuhvaćeni vanjski negativni utjecaji i onečišćenje proizvedeno od strane njih. S druge strane, povećanje proizvodnje biogoriva bi moglo dovesti do utjecaja na ukupni gospodarski učinak, sektorske učinke i međunarodnu trgovinu i cijene robe i usluga. Nerazvijene zemlje i zemlje u razvitku koje ne mogu zadovoljiti povećanu potražnju za biogorivom imaju veći gospodarski gubitak u proizvodnji. Dok razvijene zemlje s razvijenom industrijom biogoriva su u mogućnosti povećati proizvodnju biogoriva. Kako bi se povećala proizvodnja, također se mora povećati i udio poljoprivredne biomase koja se koristi prilikom proizvodnje biogoriva, to rezultira povećanje poljoprivrednog sektora.<sup>4</sup> Trenutačno se biogorivo većinom proizvodi na poljoprivrednom zemljištu, što ekonomski nije prihvatljivo. Naime proizvodnja na poljoprivrednom zemljištu dovodi do smanjenja površine za obradu zemljišta, što uzrokuje povećanje cijena hrane i samog zemljišta. Upravo zbog tog problema imamo različite vrste biogoriva, kao i postupke njegovog dobivanja.<sup>2</sup> Biogoriva zamjenjuju naftna goriva što rezultira time da se smanjuje njihova proizvodnja. Ta situacija bi negativno utjecala na proizvodnju ostale robe i usluga, odnosno trgovina bi se znatno smanjila. Dok bi biogoriva i biomasa dobile značajan porast u cijeni. Moglo bi se zaključiti kako biogoriva imaju blago negativan utjecaj na globalno gospodarstvo. U Europi je isplativost korištenja biogoriva i biodizela znatno niska, pa su i gospodarski troškovi u proizvodnji vrlo visoki. Također su visoke uvozne carine iz zemalja s većom učinkovitosti i održivom proizvodnjom biogoriva, kao što je to Brazil.<sup>4</sup> Iako proizvodnja biogoriva u razvijenim zemljama ima blago negativan utjecaj na gospodarstvo, u ruralnim područjima ona je izvrsna prilika za gospodarski razvoj. Biogoriva prve generacije su cjenovno skuplja u usporedbi s fosilnim gorivima kad se uspoređuju na istoj osnovi energetskeg sadržaja. Pa tako su bioetanol i biodizel čak dvostruko skuplji od benzina i dizela, upravo zbog biomase iz koje se dobivaju. Takva biogoriva nisu isplativa u razvijenim zemljama u usporedbi s naftnim gorivima. S druge strane biogoriva druge generacije su jeftinija, te pokazuju pozitivan ukupni gospodarski utjecaj s mogućnošću otvaranja novih radnih mjesta, te pružanja prilike za rješavanje problema ruralnog siromaštva.<sup>6</sup>



## 6. ZAKLJUČAK

Sve je veća svijest negativnih karakteristika koja nam donose fosilna goriva, te da su neobnovljiv izvor energije koji će se jednog dana u potpunosti potrošiti. Upravo zbog toga nam je prijeko potrebna njihova zamjena. Kao odlično rješenje ovog problema su upravo biogoriva koja dobivamo iz biomase, mogu biti od različitih sirovina kao što su poljoprivredni uzgoji, biološki otpad iz kućanstva i prehrambene industrije te šumski otpad. Biogoriva imaju puno prednosti nad fosilnim gorivima zbog njihovih svojstava kao što je smanjenje emisija stakleničkih plinova čija je posljedica veća kvaliteta i čišći zrak, također velika pozitivna strana biogoriva je ta da ako se na adekvatan način koriste nisu otrovna i biorazgradiva su, što je odlično da se ne akumuliraju u okolišu kao otrovni spojevi. Energetski su vrlo pogodna kao zamjena za naftna goriva i prilikom korištenja nisu potrebne znatne modifikacije na motorima s unutarnjim izgaranjem. Iako biogoriva imaju puno pozitivnih strana korištenja, moramo uzet u obzir i one negativne, pa tako njihova visoka cijena dovodi do ekonomskih neprilika i nedostupnosti za sve. Također biomasa za proizvodnju biogoriva se uzgaja na poljoprivrednim zemljištima što oduzima prostor za uzgoj hrane i cijena hrane i zemljišta je u porastu. Postoje različite vrste i načini dobivanje biogoriva, također se raspodjeljuju po generacijama pa tako imamo tri generacije koje razlikuje biomasa od kojih se dobiva biogorivo. Pa tako biomasa od koje se dobiva prva generacija biogoriva su upravo poljoprivredne kulture poput žitarica, šećerne trske i krumpira. Druga generacija biogoriva se zasniva na biomasi koja je dobivena iz poljoprivrednog i šumskog otpada. A treća generacija, ujedno i najnovija se zasniva na uzgoju algi koje u sebi sadrže puno lipida koji su odličan izvor sirovine za proizvodnju biogoriva. Trenutno najkorištenija biogoriva su bioetanol, koji je zamjena za naftni benzin, i biodizel, koji je zamjena za naftni dizel. Još uvijek se ne koriste kao njihova potpuna zamjena, već se miješaju u različitim omjerima. Još jedno gorivo koje postaje dosta rasprostranjeno, pogotovo u automobilskoj industriji je biohidrogen, odnosno vodik. Iako postoji dosta metoda za dobivanje biogoriva, znanstvenici još uvijek rade na novim i boljim, te se svakog dana dobivaju sve novije i bolje metode i biogoriva za korištenje bez negativnih utjecaja.

## 7. LITERATURA

- [1] dos Santos, M.A., Environmental impact of biofuels, InTech, Rijeka, 2011.
- [2] Løkke, S., Aramendia, E., Malskær, J., Biomass and Bioenergy: A review of public opinion on liquid biofuels in the EU: Current knowledge and future challenges, Aalborg University, Danska, 2021
- [3] Energetika, Europska agencija za okoliš, Dostupno na poveznici: <https://www.eea.europa.eu/hr/themes/energetika/intro> (Pristup: 15.8.2021.)
- [4] Timilsina, G. R., Zilberman, D., The impacts of Biofuels on The Economy, Environment, and Poverty: A Global Perspective, Springer, SAD, 2014.
- [5] Neobnovljivi i obnovljivi izvori energije, Izzi, Dostupno na poveznici: <https://hr.izzi.digital/DOS/580/1950.html> (Pristup: 15.8.2021.)
- [6] Gupta, R. B., Demirbas, A., Gasoline, Diesel, and Ethanol Biofuels from Grasses and Plants, Cambridge, 2010.
- [7] Ante Jukić, Biomasa, Kolegij: Obnovljivi izvori energije, Zavod za tehnologiju nafte i petrokemiju, FKIT
- [8] Šljivac, D., Šimić, Z., Obnovljivi izvori energije: Najvažnije vrste, potencijal i tehnologija, 2009.
- [9] <https://regulator.hr/zanimljivosti/sto-je-biomasa-i-kako-se-koristi/> (Pristup: 25.8.2021.)
- [10] <https://hr.acumeninterior.com/5556697-biomasa-paliwo-tanie-i-nowoczesne> (Pristup: 25.8.2021.)
- [11] <https://agrosavjet.com/visestruka-korist-od-kore-voca/> (Pristup: 25.8.2021.)
- [12] <https://regulator.hr/zanimljivosti/sto-je-biomasa-i-kako-se-koristi/> (Pristup: 25.8.2021.)
- [13] <https://www.obnovljivi.com/svijet/2403-da-li-je-slama-novi-veliki-izvor-energije-u-njemackoj> (Pristup: 25.8.2021.)
- [14] Biogoriva, EKO.ZAGREB.HR, Dostupno na poveznici: <https://eko.zagreb.hr/biogoriva/92> (Pristup: 14.8.2021.)
- [15] Biofuels, European Alternative Fuels Observatory, Dostupno na poveznici: <https://www.eafo.eu/alternative-fuels/biofuels/generic-information> (Pristup: 16.8.2021.)
- [16] [http://www.alfportal.hr/phocadownload/osnovna\\_skola/8\\_razred/kemija/galerija\\_slika/17.20Alkoholi%20-%20metanol,%20etanol%20i%20njihovo%20djelovanje/slides/17.20Model%20molekule%20etanola.html](http://www.alfportal.hr/phocadownload/osnovna_skola/8_razred/kemija/galerija_slika/17.20Alkoholi%20-%20metanol,%20etanol%20i%20njihovo%20djelovanje/slides/17.20Model%20molekule%20etanola.html) (Pristup: 16.8.2021.)
- [17] Ante Jukić, Biogoriva, Kolegij: Obnovljivi izvori energije, Zavod za tehnologiju nafte i petrokemiju, FKIT

- [18] What is biodiesel?, University of Strathclyde Glasgow, Dostupno na poveznici: [http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web\\_sites/02-03/biofuels/what\\_biodiesel.htm](http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/02-03/biofuels/what_biodiesel.htm) (Pristup: 16.8.2021.)
- [19] Romero, R., Martinez, S.L., Natividad, R., Biodiesel Production by Using Heterogeneous Catalysts, Universidad Autónoma del Estado de México, 2011.
- [20] Biofuels explained: Biomass-based diesel fuels, eia, Dostupno na poveznici: <https://www.eia.gov/energyexplained/biofuels/biodiesel.php> (Pristup: 16.8.2021.)
- [21] Bioplin, EKO.ZAGREB.HR, Dostupno na poveznici: <http://www.eko.zagreb.hr/bioplin/91> (Pristup: 17.8.2021.)
- [22] Omerdić, N., Anaerobnom digestijom do visokovrijednog organskog gnojiva, Hrvatske vode, No. 111, 2020.
- [23] Second Generation Biofuels, Biofuel.org.uk., Dostupno na poveznici: <http://biofuel.org.uk/second-generation-biofuels.html> (Pristup: 18.8.2021.)
- [24] Vodikova energija: koje su koristi za EU?, Vijesti Europski parlament, Dostupno na poveznici: <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/society/20210512STO04004/vodikova-energija-koje-su-koristi-za-eu> (Pristup: 18.8.2021.)
- [25] Zelena Knjiga nacrt: Analize i podloge za izradu energetske strategije Republike Hrvatske, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2018.
- [26] Vodikova energija, VANIS Application Software, Dostupno na poveznici: [http://www.vanis.hr/hr/vodik/vodikova\\_energija.htm](http://www.vanis.hr/hr/vodik/vodikova_energija.htm) (Pristup: 19.8.2021.)
- [27] <https://automania.hr/toyota-mirai-concept-nova-generacija-miraia-puno-je-atraktivnija-i-efikasnija-a-vozi-na-vodik/> (Pristup: 19.8.2021.)
- [28] Ante Jukić, Vodikova energija i ekonomija, Kolegij: Obnovljivi izvori energije, Zavod za tehnologiju nafte i petrokemiju, FKIT
- [29] Barilo, N., Loosen, S., Hydrogen Fuel Cells and Fuel Cells Electric Vehicles: Emerging Applications and Safety Management, Green Transportation Summit & Expo, 2018.
- [30] BioDME, European Alternative Fuels Observatory, Dostupno na poveznici: <https://www.eafo.eu/alternative-fuels/advanced-biofuels/BioDME> (Pristup: 22.8.2021.)
- [31] About DME, BIODME, Dostupno na poveznici: <http://www.biodme.eu/about-dme/> (Pristup: 22.8.2021.)
- [32] Metanol, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Dostupno na poveznici: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=40381> (Pristup: 25.8.2021.)
- [33] [http://www.alfaportal.hr/phocadownload/osnovna\\_skola/8\\_razred/kemija/galerija\\_slika/17.%20Alkoholi%20-%20metanol,%20etanol%20i%20njihovo%20djelovanje/slides/17.1%20b%20Model%20molekule%20metanola.html](http://www.alfaportal.hr/phocadownload/osnovna_skola/8_razred/kemija/galerija_slika/17.%20Alkoholi%20-%20metanol,%20etanol%20i%20njihovo%20djelovanje/slides/17.1%20b%20Model%20molekule%20metanola.html) (Pristup: 16.8.2021.)

- [34] Vidović, E., Metanol – zvijezda među kemikalijama, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, 2016
- [35] Xu, H., An Innovative Biofuel Approach: 2,5- dimethylfuran (DMF), Birmingham University, 2009
- [36] <https://www.fishersci.se/shop/products/dmf-dimethylformamide-gc-headspace-grade-fisher-chemical/15562393> (Pristup: 26.8.2021.)
- [37] Ante Jukić, Dobivanje sintetskih goriva i baznih ulja GTL, CTL i BTL tehnologijama, Kolegij: Obnovljivi izvori energije, Zavod za tehnologiju nafte i petrokemiju, FKIT
- [38] <http://www.howardhawk.co.uk/434725798> (Pristup: 26.8.2021.)
- [39] Methyl tert-butyl ether, PubChem, Dostupno na poveznici: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Methyl-tert-butyl-ether> (Pristup: 27.8.2021.)
- [40] Arthur, J., Rocque, Jr., Use of Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE) as a Gasoline Additive, State of Connecticut, Department of Environmental Protection, 2000.
- [41] Bajpai, P., Third Generation Biofuels, Springer, Kanpur, Uttar Pradesh, India, 2019.
- [42] <http://www.netauto.rs/srpski/news/article/mazda-razvija-biogorivo-od-algi> (Pristup: 30.8.2021.)
- [43] Sažetak studije o utjecaju na okoliš za zahvat: Izgradnja kompleksa za proizvodnju biodizela u koprivnici, Fakultet Kemijskog Inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2009.